

2. Попов Е.В., Дружинин Г.М., Адаптация математической модели расчёта нагрева металла для АСУ на примере толкательной печи стана 2800 ОАО «Уральская Сталь» // Екатеринбург: УрФУ, 2015 – 264 с.

3. Портал компании Ansys. URL <https://www.ansys.com>.

4. Алтыева М.Ч. Математическое моделирование процесса нагрева сляба, как компонент управления технологическим процессом // XIV Всероссийская школа-конференция молодых ученых «Управление большими системами». – Липецк: ЛГТУ, 2015 – 10 с.

5. Швыдкий В.С., Спирин Н.А., Ладыгичев М.Г., Ярошенко Ю.Г., Гордон Я.М. Элементы теории систем и численные методы моделирования процессов тепломассопереноса: учебник для вузов. – М.: «Интермет-Инжиниринг», 1999. – 520 с.

6. Дождиков В.И., Ганул А.О., Мордовкин Д.С. Оптимизация работы энерготехнологического комплекса нагрева металла перед прокаткой // Сталь. 2018. №2. С. 69-71.

7. Денисов М.А. Автоматизированное проектирование в Ansys и Компас-3D. Электронное издание. – Екатеринбург: УрФУ, 2015 – 264 с.

8. Арутюнов В.А., Бухмиров В.В., Крупенников С.А. Математическое моделирование тепловой работы промышленных печей. М.: Metallurgia, 1990 – 239 с.

УДК 621.365.4

И. Д. Лядов, Е. В. Киселев

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ РАБОТЫ КАМЕРНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПЕЧИ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Аннотация

В работе исследована тепловая работа камерной электрической печи сопротивления ЦЭП 289 для нагрева мелкосерийной продукции. Рассчитан нагрев металла. Составлен тепловой баланс действующей печи, определены КПД печи и удельный расход электроэнергии. Проанализирована работа печи, выявлены основные ее недостатки, предложены эффективные мероприятия для технического перевооружения печи и снижения потребления энергии, такие как замена футеровки на более современные материалы с низкими коэффициентами теплопроводности. На основе замены футеровки, составлен новый тепловой баланс, проанализирована работа модернизированной печи, определены новые КПД печи и удельный расход электроэнергии. При реализации предложенных мероприятий можно ожидать значительного снижения энергопотребления при производстве мелкосерийной продукции.

Ключевые слова: камерная электрическая печь сопротивления, нагрев, термообработка, конструкция, тепловой баланс, мощность.

Abstract

The thermal operation of the chamber electric resistance furnace SNZ 6.3 for heating small-scale production was investigated. The heating of the metal is calculated. The thermal balance of the

existing furnace is made, the efficiency of the furnace and the specific electricity consumption are determined. The furnace operation has been analyzed, its main shortcomings have been identified, and effective measures have been proposed for the technical re-equipping of the furnace and reducing energy consumption, such as replacing the lining with more modern materials with low thermal conductivity coefficients. On the basis of replacement of the lining, a new heat balance was compiled, the work of the modernized furnace was analyzed, new furnace efficiency and specific electricity consumption was determined. When implementing the proposed measures, we can expect a significant reduction in energy consumption in the production of small-scale products.

Key words: *chamber electric resistance furnace, heat, heat treatment, construction, heat balance, power.*

В настоящее время повышаются требования к качеству нагрева металла, следовательно, повышаются требования к агрегату, в котором производится нагрев или термическая обработка металла.

Электрические печи получили широкое применение во всех отраслях промышленности, как на крупных, так и на мелкосерийных производствах. Эти печи имеют преимущества по сравнению с другими агрегатами. В электропечах можно быстро нагревать, плавить и точно регулировать температуру металла, создавать окислительную, восстановительную, нейтральную атмосферу или вакуум.

У электрических печей сравнительно простая конструкция, но существует необходимость ее совершенствования. Совершенствование конструкции необходимо для обеспечения длительной работоспособности электропечей и реализации заложенных в конструкциях возможностей по высокоточному регулированию режимов термообработки [1].

Для исследования была выбрана камерная электрическая печь сопротивления ЦЭП 289.

Камерная электропечь сопротивления ЦЭП 289 (рисунок 1) предназначена для нагрева под закалку.

Кожух печи выполнен сваркой из листовой и профильной стали. Температура печи регулируется автоматически от двух термодатчиков, установленных в стенах печи. Они служат для контроля температуры в рабочем пространстве печи.

Дверца открывается и закрывается автоматически.

Футеровка выполнена из легковесного шамота ШЛ–0,4. В передней части футеровки установлен шамот легковесный ШЛ–1,3, который является поверхностью прилегания дверцы.

В печи находится U-образные ленточные нагревательные элементы из хромоалюминиевого сплава с добавками бора, титана, типа ОХ23ЮТ5А (ЭИ–652). Соединение нагревателей – звезда. Максимальная рабочая температура применения 1400 °С [3].

С целью выявления недостатков работы печи, для оптимизации ее энергопотребления рассчитана тепловая работа печи и составлен тепловой баланс агрегата (таблица 1) [2; 3].

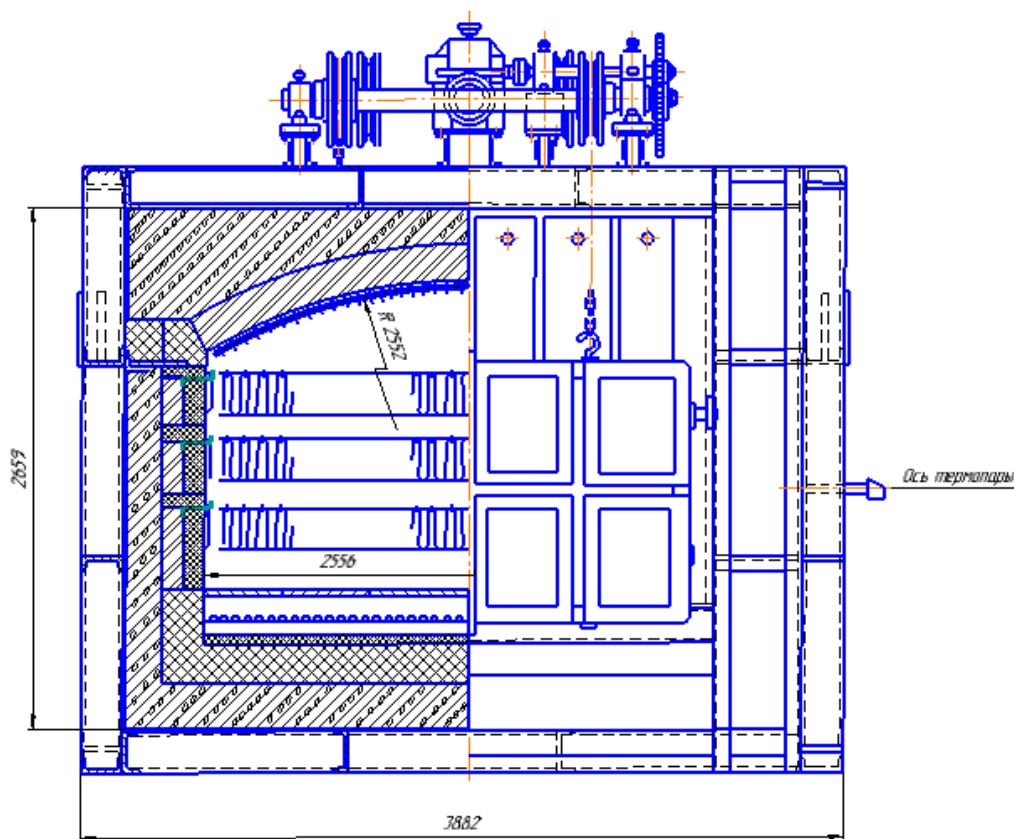


Рис. 1. Камерная электрическая печь сопротивления ЦЭП 289

Таблица 1

Тепловой баланс существующей печи

Приход тепла			Расход тепла		
Параметр	кВт	%	Параметр	кВт	%
Установочная мощность, $N_{уст}$	207,5	100	Максимально полезная мощность, $N_{пол.мах}$	129,7	62,5
			Потери теплопроводностью, $N_{5т}$	22,48	10,8
			Потери мощности вследствие тепловых коротких замыканий, $N_{5т.к.з}$	11,24	5,4
			Потери излучением кладки печи через окно во время загрузки ручек, $N_{5л}$	9,5	4,58
			Потери теплоты на аккумуляцию кладкой	34,58	16,67
Итого	207,5	100	Итого	207,5	100

Исходя из анализа теплового баланса видно, что печь работает с достаточно высоким КПД (62,5 %), для электрической печи приемлемый уровень от 40 до 60 %. Удельный расход электроэнергии составил $w_э = 400$ кВт·ч/т.

Кроме того, в печи имеются существенные потери теплоты на разогрев массивной кладки печи и теплопроводностью в окружающую среду (16,67 %).

Для улучшения показателей тепловой работы печи можно рекомендовать использование, в качестве футеровки, современные материалы с более низким коэффициентом теплопроводности.

В качестве теплоизоляционного слоя будет материал МКРВ – 200 (рисунок 2), с коэффициентом теплопроводности $0,13 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$, при 600°C . Преимущества: низкая теплопроводность и незначительная аккумуляция тепла при низкой массе волокнистого материала; устойчивость к расплавам цветных металлов; волокно не смачивается жидким алюминием цинком, магнием и их сплавами; стойкость к термоударам [4].

Футеровка – плита из керамического волокна марки «Lytх» (рисунок 3), с коэффициентом теплопроводности $0,15 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$ при 800°C . Преимущества: высокая прочность на сжатие, изгиб; долговечность; простота монтажа и низкие трудозатраты; точность размеров, ровная поверхность; устойчивость к эрозии и пламени; отсутствие хрупкости при однородности структуры; низкая теплопроводность и малая теплоёмкость; устойчивость к термическим ударам [4].

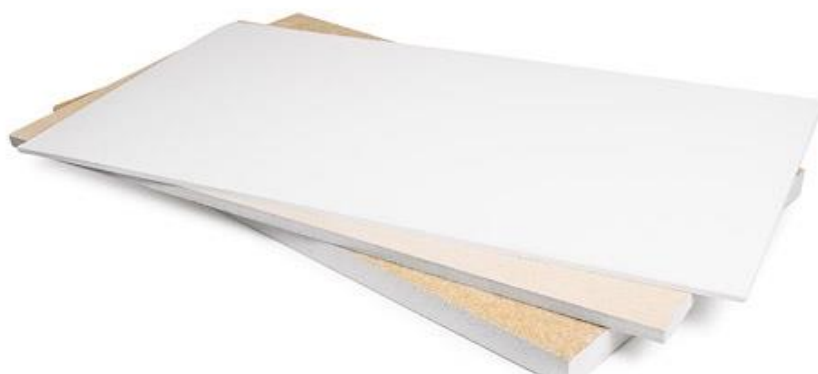


Рис. 3. Плита из керамического волокна «Lytх»

Нагреватели крепятся к футеровке с помощью керамических винтов (рисунок 4). Данные винты обладают высокой огнеупорностью, электроизоляционными свойствами, стойкостью к тепловому удару, длительным сроком службы [4].



Рис. 4. Керамические винты

Исходя из предложенных мероприятий, составлен новый тепловой баланс (таблица 2).

Таблица 2

Тепловой баланс электрической печи после модернизации

Приход тепла			Расход тепла		
Параметр	кВт	%	Параметр	кВт	%
Установочная мощность, $N_{уст}$	182,52	100	Максимально полезная мощность, $N_{пол.мах}$	129,7	71
			Потери теплопроводностью, $N_{5т}$	8,6	4,7
			Потери мощности вследствие тепловых коротких замыканий, $N_{5т.к.з}$	4,3	2,4
			Потери излучением кладкой печи через окно во время загрузки ручек, $N_{5л}$	9,5	5,2
			Потери теплоты на аккумуляцию кладкой	30,42	16,7
Итого	182,52	100	Итого	182,52	100

Благодаря замене футеровки, снизились потери теплоты теплопроводностью и вследствие тепловых коротких замыканий в 2,5 раза. Установочная мощность уменьшится на 25 кВт, а удельный расход электроэнергии снизится до 250 кВт·ч/т. КПД печи увеличится с 62,5 до 71 %.

Таким образом, предложенный ряд мероприятий при их реализации позволит значительно повысить эффективности рассматриваемого производства.

Список использованных источников

1. Свенчанский А.Д. Электрические промышленные печи. Учебник для вузов. В 2-х ч. Ч. 1. Электрические печи сопротивления. Изд. 2-е, перераб. – М.: Энергия, 1975. – 384 с.
2. Электрические печи сопротивления: учебное пособие / Е.В. Киселев, В.Б. Кутын, В.И. Матюхин. – Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2010. – 78 с.
3. Теплотехнические расчеты металлургических печей / Я.М. Гордон, Б.Ф. Зобнин, М.Д. Казяев [и др.]. Учебник для студентов вузов. Изд. 3-е. – М.: Металлургия, 1993. – 368 с.
4. ООО «Теплопромпроект» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.teplopromproekt.ru> (Дата обращения: 21.04.2017).